



HAL
open science

La distribution du radium dans la croûte terrestre et la chaleur interne de la terre

J.R. Strutt

► **To cite this version:**

J.R. Strutt. La distribution du radium dans la croûte terrestre et la chaleur interne de la terre. Radium (Paris), 1906, 3 (6), pp.161-167. 10.1051/radium:0190600306016100 . jpa-00242179

HAL Id: jpa-00242179

<https://hal.science/jpa-00242179>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La distribution du radium dans la croûte terrestre et la chaleur interne de la terre

Par J. R. STRUTT,

Attaché au Trinity College de Cambridge.

I. — *Introduction.*

Le professeur Rutherford¹ a donné un calcul qui suggère la possibilité d'expliquer par la présence du radium dans la terre le gradient de la température observée dans le voisinage de la surface.

La question a un grand intérêt au point de vue cosmique. Car, si nous trouvons que la chaleur interne de la terre est due à la radioactivité, et si nous admettons comme d'ordinaire que cette chaleur est due à des vestiges d'une cause encore active dans le soleil et les étoiles, il en résulterait que ceux-ci doivent également leur chaleur à des processus radioactifs.

Le calcul du professeur Rutherford était basé sur des données d'Elster et Geitel relatives à la quantité d'émanation diffusée par un échantillon d'argile. Ces données datent d'un temps où la détermination quantitative de petites quantités de radium était mal comprise, et de plus elles sont insuffisantes pour donner une idée du dégagement moyen d'émanation de la croûte terrestre. Aussi ai-je fait une recherche étendue de la quantité de radium contenue dans des roches typiques. C'est le sujet de ce mémoire. Les résultats en sont très surprenants. Aussi, donnerons-nous beaucoup de détails pour permettre au lecteur de juger si ces résultats sont entachés d'une cause d'erreur profonde.

II. — *Choix des substances*

La croûte terrestre, qui seule nous est accessible, consiste en roches ignées et en matériaux sédimentaires qui résultent des actions géologiques subies par ces roches. Il est hors de doute que la teneur moyenne en radium des roches ignées primitives pourrait fort bien se déduire de l'examen d'un grand nombre de roches sédimentaires. Il est pourtant beaucoup plus satisfaisant d'examiner directement les matériaux ignés, car alors on peut faire leur classement en ce qui concerne leur teneur en radium.

J'ai examiné un petit nombre de roches sédimentaires, mais je n'y attache pas grande importance, et

1. *Radioactivity*, p. 494, 2^e éd.

je me fonde, pour déterminer la teneur moyenne en radium de la croûte terrestre, principalement sur les résultats obtenus avec des matériaux ignés originels. Les résultats relatifs aux roches sédimentaires se trouveront dans un mémoire ultérieur. J'espère aussi déterminer quels sont les minéraux contenus dans les roches ignées qui renferment le radium, sujet qui n'est pas abordé ici.

Les météorites sont particulièrement intéressants. On a fait quelques déterminations avec eux, et il en est fait mention incidemment dans ce mémoire.

III. — *Méthode de détermination de la teneur en radium.*

Le radium présent dans les roches était dosé quantitativement au moyen de son émanation. Une solution de la roche était gardée jusqu'à accumulation de l'émanation. Puis on chassait celle-ci par ébullition et on l'introduisait dans un électroscope. L'accroissement du taux de perte servait de mesure à la quantité de radium présente. La mesure se transformait en une mesure absolue par un étalonnage fait au moyen d'un minéral d'uranium d'une teneur connue en radium.

Pour être certain d'extraire l'émanation quantitativement, il est essentiel de décomposer complètement la roche par des agents chimiques. Dans le cas de calcaires et de météorites métalliques, on peut y arriver par dissolution dans l'acide chlorhydrique. Mais, dans le cas des matières siliceuses, il faut employer la fusion avec les carbonates alcalins.

Le procédé type était le suivant : 50 grammes de roche étaient pulvérisés dans un mortier de fer, puis dans un mortier d'agate, puis tamisés dans un crible très fin. Ce travail pouvait être fait par un manoeuvre en moins d'une heure, et facilitait beaucoup la décomposition de la roche.

250 grammes d'un mélange de carbonates de sodium et de potassium anhydres étaient fondus dans un grand vase de platine. A cet effet, on installait autour du vase un revêtement de carton d'amiante, et l'on chauffait par dessous à l'aide d'un chalumeau à gaz, actionné automatiquement par pression d'eau. Aussitôt

le carbonate en fusion, on projetait la roche pulvérisée à sa surface, par petites portions, jusqu'à absorption complète. Le chauffage était en général poursuivi une heure après cessation de toute effervescence.

Le résidu était alors mis à digérer avec de l'eau chaude pour dissoudre les silicates et les carbonates alcalins. La portion insoluble dans l'eau était dissoute dans l'acide chlorhydrique. Un peu de silice se séparait toujours de la solution acide et on la laissait sur nager le liquide.

Les deux solutions, aqueuse et acide, étaient placées à part dans des flacons munis de bouchons de caoutchouc. On se gardait de les mélanger, pour éviter la formation d'un précipité épais et peu maniable de silice.

La décomposition par l'acide fluorhydrique a des avantages sur l'emploi du carbonate de sodium. Mais elle exige une pulvérisation plus longue, et entraîne des frais par suite de la difficulté de conserver et de transporter l'acide. Après deux ou trois essais on y a renoncé.

Les deux flacons étaient abandonnés à eux-mêmes pendant un nombre déterminé de jours, une semaine au minimum, plus souvent 15 jours ou trois semaines. Pendant ce temps, le radium contenu dans la roche engendre de l'émanation; après trois semaines, le maximum est pratiquement atteint. La fraction engendrée pendant un temps moindre peut se calculer d'après les équations de l'accroissement d'activité données par Rutherford et Soddy.

J'ai donné une méthode d'extraction quantitative de l'émanation dans les *Proc. Roy. Soc. A.* vol. 76, 1905, p. 89. Cette méthode a été employée ici avec quelques

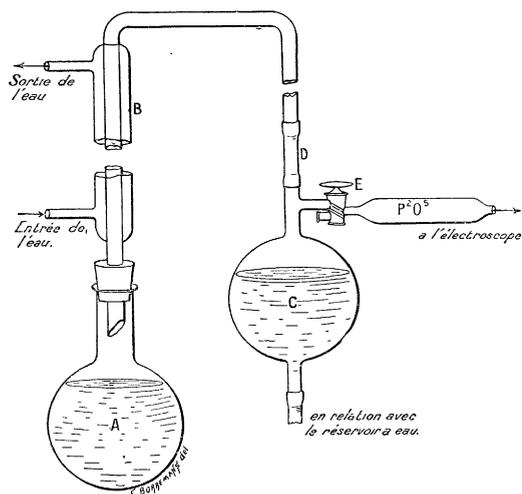


Fig. 1. — Dispositif employé pour l'extraction de l'émanation produite par la substance radifère.

perfectionnements. Le flacon A (fig. 1) contient la solution. L'émanation accumulée se trouve d'abord en partie dissoute, en partie contenue dans l'air qui

occupe la partie supérieure du ballon. Le flacon est débouché et attaché aussi rapidement que possible à l'extrémité du condenseur B, de façon à éviter toute perte d'émanation. On fait alors bouillir le liquide du ballon A de façon à chasser l'émanation du radium. La vapeur se condense en B et retombe. L'air chargé d'émanation passe dans le gazomètre C et en déplace l'eau progressivement. L'ébullition est prolongée pendant une heure. A la fin de ce temps, l'eau qui circule dans le réfrigérant de B est arrêtée, on laisse passer un peu de vapeur pour chasser l'air et l'émanation de A dans C. Puis on serre le caoutchouc D avec une pince et on retire immédiatement le brûleur de dessous le flacon A.

De cette façon, l'émanation est recueillie dans le gazomètre C. Il ne reste plus qu'à la transférer dans l'électroscope après refroidissement. On fait le vide dans celui-ci, et on y aspire l'émanation à travers un robinet et un tube desséchant. Puis on rend l'air dans l'électroscope jusqu'à la pression atmosphérique. Après un intervalle de trois heures, pour permettre au dépôt actif de se former, on lit la vitesse de déperdition.

La perte normale de l'électroscope était déterminée fréquemment au cours des recherches.

Voici sa valeur en nombre de divisions par heure, 24, 25,5, 24,1, 24, 23, 20,6, 21,7, 22,5, 22,5, 22,1. Moyenne, 25 à peu près. Ces valeurs ont été déterminées aussitôt après rentrée de l'air dans l'électroscope vidé.

Si on laissait l'instrument fermé, on constatait que la déperdition augmentait notablement au cours d'une journée. Un effet du même genre a été observé au Cavendish Laboratory, et y est présentement à l'étude. Nous n'avons pas à nous en occuper ici, car on n'a jamais attendu assez pour qu'il se manifeste.

Dans ce genre de recherches, quand l'effet étudié est petit, il faut être certain que l'émanation vient réellement de la substance étudiée et non d'une source extérieure. Une erreur de ce genre m'avait fait dire que le mercure dégage une émanation. Ici toutes les précautions ont été prises.

Le laboratoire n'avait jamais contenu de substances radioactives. Des solutions des réactifs employés ont été essayées séparément pour connaître leur teneur en émanation, après qu'on les eût laissées à elles-mêmes pendant quinze jours. Les résultats furent les suivants :

		Déperdition.
Carbonate de sodium	250 gr.	23,9
— de potassium	250 gr.	24,2
Acide chlorhydrique	500 c. c.	24,0
Eau (canalisation de Cambridge)	2000 c. c.	24,0

On n'a dans aucun de ces cas de perte supérieure à la perte normale. On peut donc dire que les réactifs, employés pour décomposer les roches ne sont pas responsables de leur teneur en émanation.

L'eau de Cambridge a été employée pour faire les solutions et remplir le gazomètre C. Cette eau contient originairement de l'émanation, comme l'a fait voir le professeur J.-J. Thomson. Aussi était-elle bouillie avec soin avant de servir. L'épreuve ci-dessus a été faite sur de l'eau bouillie et montre que celle-ci ne redonne pas de traces appréciables d'émanation. L'eau bouillie du gazomètre était changée à chaque expérience.

Rutherford et Boltwood¹ ont déterminé en valeur absolue la teneur en radium des minerais d'uranium. Ils ont trouvé que le radium associé à 1 gramme d'uranium est $7,4 \cdot 10^{-7}$ grammes. J'emploierai cette valeur de préférence à la mienne propre², car ils ont vérifié la production de chaleur de leur étalon de radium, alors que je n'avais aucune preuve de la pureté du mien.

Les minerais d'uranium employés pour l'étalonnage furent la torbernite (phosphate double de cuivre et d'uranium), contenant 60 pour 100 de U_5O_8 (= 51 pour 100 d'uranium) et la pechblende, contenant 75,5 pour 100 de U_5O_8 (= 62,4 pour 100 d'uranium).

On a déterminé le taux de perte dû à l'émanation produite en un jour par quelques milligrammes de ces substances. On déduisait de là la quantité de radium qui produirait en un temps infini assez d'émanation pour donner une perte d'une division par heure. C'est la constante donnée dans la dernière colonne de la table suivante :

Expériences d'étalonnage.

MINÉRAL	U %	POIDS d'U	PERTE CORRIGÉE DUE A L'ÉMANATION FORMÉE EN 1 JOUR	CONSTANTE QUI S'EN DÉDUIT
Torbernite	51	0,0076	214	$2,5 \times 10^{-12}$
» la même	51	0,0076	209	$2,36 \times 10^{-12}$
Torbernite	51	0,0046	116,5	$2,56 \times 10^{-12}$
» la même	51	0,0046	115	$2,64 \times 10^{-12}$
Pechblende. . . .	62,4	0,0065	207	$2,41 \times 10^{-12}$
» la même	62,4	0,0065	202	$2,45 \times 10^{-12}$

La valeur moyenne de la constante est $2,45 \cdot 10^{-12}$ ou en d'autres termes, une perte d'une division par heure représente $2,45 \cdot 10^{-12}$ grammes de radium dans l'échantillon étudié, si l'on suppose que celui-ci ait eu le temps de produire la quantité d'émanation maximum.

Voici maintenant le détail des déterminations pour deux minerais typiques, l'un à forte teneur, l'autre à faible teneur en radium.

1° *Granit du Cap*, 50 grammes. — Solutions aban-

1. *Am. Journ. Soc.*, 1905, p. 55.
2. *Roy. Soc. Proc. A.*, vol. 76, 1905, p. 88.

données à elles-mêmes du 21 mars au 26 mars, donnant 60 pour 100 du maximum d'émanation.

	Divisions par heure	Corrigé
Émanation de la solution acide . .	105	80
— — alcaline.	51	8

Ainsi, le total de l'émanation à l'état d'équilibre donnerait 146 divisions à l'heure, ou, rapporté au gramme $\frac{146}{52} = 2,81$ divisions à l'heure. Ainsi un gramme de roche contient $2,81 \cdot 10^{-12} = 2,81 \cdot 10^{-12}$ grammes de radium.

2° *Olivine, île de Rum*, 50 grammes. — Solutions laissées du 31 janvier au 15 février, donnant pratiquement le maximum d'émanation.

	Divisions par heure	Corrigé
Émanation de la solution acide . .	54	41
— — alcaline.	25,8	2,8

Un gramme de roche donnerait 0,276 divisions par heure et contiendrait par suite $2,81 \cdot 0,276 \cdot 10^{-12} = 0,776 \cdot 10^{-12}$ grammes de radium.

Ce dernier exemple est à peu près celui de la plus petite teneur en radium rencontrée dans les roches ignées. On remarquera que, même dans ce cas défavorable, la perte produite par l'émanation est à peu près la moitié de la perte normale de l'électroscope et est par conséquent bien marquée. On remarquera aussi que la solution alcaline ne contient qu'une faible partie du radium contenu dans la roche.

IV. — Résultats pour les roches ignées.

Ces résultats se trouvent dans le tableau ci-dessous, où les minéraux sont rangés par teneur décroissante en radium.

On observera qu'en général les roches granitiques riches en silice contiennent plus de radium que les roches basiques. Mais la règle n'est pas invariable.

Plusieurs des roches étudiées contiennent de l'uranium; ainsi les granits numéros 2 et 6 se rencontrent près des filons de pechblende de Wheal Trenwich, St-Ives. Les syénites de Norvège numéros 5, 8 et 15 contiennent aussi des dépôts uranifères. Toutes ces roches sont très riches en radium, sans former une seule classe par elles-mêmes.

Ainsi la concentration du radium dans ces dépôts est extrêmement locale, et ne peut modifier les conclusions générales relatives à la répartition du radium dans la croûte terrestre.

Une confirmation de cette conclusion se trouve dans le fait que le gradient de la température à Wheal Trenwich, St-Ives, est tout à fait normal¹. On trouve dans cette mine des quantités considérables de pech-

1. Voir PRESTWICH, *Questions controversées en géologie*, p. 126.

NUMÉROS	ESPÈCE MINÉRALE	LOCALITÉ	DENSITÉ	Ra EN GRAMMES PAR GRAMME	Ra EN GRAMMES PAR CC.
1	Granit.	Rhodésie.	2,65	$9,56 \times 10^{-12}$	$25,2 \times 10^{-12}$
2	»	Lamorna (Cornouailles).	2,62	9,55 »	24,5 »
3	Syénite à Zircon.	Brevig, Norvège.	2,74	9,50 »	25,5 »
4	Granit.	Rosemorran (Cornouailles).	2,62	8,45 »	22,1 »
5	»	Cap de Bonne-Espérance.	2,67	7,15 »	19,1 »
6	»	St-Yves (Cornouailles).	2,61	6,90 »	18,0 »
7	»	Shap Fell (Westmoreland).	2,65	6,65 »	17,6 »
8	Éléolite.	Laurdal, Norvège.	2,70	4,88 »	13,2 »
9	Granit.	Hayton, Devonshire.	2,61	5,65 »	9,64 »
10	Blue Ground.	Kimberley.	3,06	5,57 »	10,5 »
11	Leucite.	Somma du Vésuve.	2,72	5,55 »	9,07 »
12	Granit à Hornblende.	Assouan.	2,64	2,45 »	6,47 »
15	Pitchstone.	Ile de Eigg.	2,41	2,06 »	4,97 »
14	Diorite à Hornblende.	Schriesheim (près Heidelberg).	2,89	1,58 »	5,75 »
15	Syénite à Augite.	Laurvig (Norvège).	2,75	1,86 »	5,07 »
16	Péridot.	Ile de Rum.	3,15	1,57 »	4,52 »
17	Basalte à Olivine.	Talisker Bay, Skye.	2,85	1,52 »	5,82 »
18	Enchiste à Olivine.	Ile de Rum.	2,97	1,28 »	5,80 »
19	Basalte.	Victoria Falls.	2,75	1,26 »	5,46 »
20	Granite à Hornblende.	M. Sorrel (Leicestershire).	2,71	1,25 »	5,58 »
21	Dolérite.	Ile de Canna.	2,95	1,24 »	5,65 »
22	Greenstone.	Carrick Di, St-Yves.	2,99	1,14 »	5,41 »
25	Basalte.	Giants Causeway, Antrim.	2,80	1,05 »	2,85 »
24	Serpentine.	Gadgwith, Lizard.	2,60	1,00 »	2,60 »
25	Granit.	Ile de Rum.	2,61	0,725 »	1,85 »
26	Olivine.	»	5,22	0,676 »	2,18 »
27	Dunite.	L. Scaivig.	5,54	0,664 »	2,22 »
28	Basalte.	Ovifak, Greenland.	5,01	0,615 »	1,84 »

blende, mais elles sont évidemment insuffisantes pour causer une perturbation appréciable dans la distribution de la température.

V. — Météorites.

On a fait des déterminations sur un météorite pierreux, sur trois météorites ferrugineux, et sur un exemplaire de fer natif d'Ovifak, Disco Island, Greenland. Les quantités étudiées étaient variables et sont indiquées dans le tableau. On n'a pu mettre le radium en évidence dans les météorites ferrugineux.

Le fer du Greenland contient un peu de radium; celui-ci était probablement contenu dans la substance siliceuse présente dans ce fer, substance qu'on a filtrée, décomposée par fusion, et ajoutée à la solution principale.

SUBSTANCE	LOCALITÉ	QUANTITÉ	Ra. PAR GRAMME
Météorite pierreux.	Dhurmala.	50 g.	$1,12 \times 10^{-12}$
Météorite de fer.	Thunda.	60 »	0
»	Augusta Co, Virginie.	52 »	0
»	S. Catarina.	50 »	0
Fer natif.	Disco Island, Greenland.	200 »	$0,424 \times 10^{-12}$

VI. — La chaleur interne de la terre.

Si q est la masse moyenne de radium par centi-

mètre cube dans la terre, h la chaleur produite par 1 gramme de radium en 1 seconde, la production totale de chaleur par seconde est

$$q \cdot h \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$$

Si K est le coefficient de conductibilité des roches superficielles, le flux total par seconde sera

$$4 \pi R^2 K \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_R$$

Où $\left(\frac{d\theta}{dr} \right)_R$ est le gradient de la température observée expérimentalement à la surface.

Si la terre est supposée en équilibre thermique, les deux expressions doivent être égales, d'où

$$4 \pi R^2 K \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_R = \frac{4}{3} \pi R^3 q h$$

et

$$q = \frac{5 K}{h R} \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_R$$

Pour K je prends la valeur 0,0041¹ pour le gradient de la température 1° F, pour 42,4 pieds², c'est-à-dire $4,5 \cdot 10^{-4}$ en unités C. G. S.

1 gramme de bromure de radium produit 100 calories par heure. Cela donne pour h la valeur $4,75 \cdot 10^{-2}$.

R , le rayon de la terre est $6,58 \cdot 10^8$.

1. Voir PRESTWICH, *loc. cit.*

2. *Loc. cit.*

D'où :

$$q = \frac{5 \times 4,1 \times 10^{-5} \times 4,5 \times 10^{-4}}{4,75 \times 10^{-2} \times 6,58 \times 10^3} = 1,75 \times 10^{-13}$$

Si donc nous admettons que la terre est en équilibre thermique, alors, même si nous admettons que toute sa chaleur interne est due au radium, sa quantité moyenne par centimètre cube ne peut pas dépasser beaucoup $1,5 \cdot 10^{-15} g$ par centimètre cube, toujours en supposant que la production de chaleur du radium n'est pas essentiellement diminuée dans les conditions physiques qui règnent à l'intérieur du globe.

Rutherford¹, prenant des valeurs des constantes un peu différentes, donne la valeur $2,6 \cdot 10^{-15}$ en bromure de radium, qui équivaut à $1,52 \cdot 10^{-15}$ de radium par centimètre cube.

On observera que toutes les roches ignées étudiées contiennent, sans exception, beaucoup plus de radium par centimètre cube que ce nombre. La plus pauvre de toutes, le basalte de Greenland, en contient plus de 10 fois plus; une roche moyenne en contient plus de 50 ou 60 fois plus.

La question doit être posée: pourquoi la terre n'a-t-elle pas un gradient de température bien supérieur à celui qu'on observe?

Le calcul précédent suppose:

1° Que la terre est en équilibre thermique c'est-à-dire que la quantité de chaleur qui s'échappe par unité de temps est égale à la quantité de chaleur créée;

2° Que le radium est la seule source de la chaleur interne;

3° Que 1 gramme de radium produit autant de chaleur à l'intérieur qu'à la surface.

En ce qui concerne le premier point, l'hypothèse que la terre va en se refroidissant ne fait qu'aggraver la difficulté. L'hypothèse qu'elle s'échauffe semble déconcertante, et je ne l'ai pas encore étudiée quantitativement.

Pour le second point, il ne fait guère de doute qu'il existe dans les roches une quantité d'uranium, insaisissable à l'analyse, proportionnelle à la quantité de radium. De plus, il semble probable qu'il y ait des traces de thorium. Ces sources de chaleur sont probablement négligeables par rapport au radium. Il y a en plus la possibilité d'une radioactivité générale de la matière. Mais si l'on admet qu'elle s'accompagne d'un dégagement de chaleur proportionnel à l'ionisation correspondante, on trouve un gradient de température 1000 fois trop grand. Je considère ceci comme un sérieux argument contre l'existence d'une radioactivité générale de cet ordre de grandeur².

Il reste la dernière hypothèse mentionnée ci-dessus. Celle-là nécessite plus ample discussion, mais nous la remettons à plus tard. Je la suppose provisoirement

1. *Loc. cit.*

2. Voir la *Nature*, 21 décembre 1905.

justifiée, et j'admets que la terre ne peut pas contenir en moyenne plus de $1,75 \cdot 10^{-15}$ grammes de radium par centimètre cube.

Pour les roches superficielles, l'expérience montre que $5 \cdot 10^{-12}$ est une valeur moyenne, plutôt sous-estimée. Donc pas plus du 1/30 de la terre ne peut être constitué de matières identiques à celles qu'on rencontre à la surface. On trouve ainsi une épaisseur d'environ 45 milles pour la croûte rocheuse, en admettant qu'à l'intérieur il n'y ait aucune substance radioactive.

Je vais considérer maintenant la distribution des températures dans une croûte de cette épaisseur, dont on peut regarder la courbure comme sensiblement nulle. Soit x la profondeur où se trouve un certain point, θ la température de ce point, h , q et K les mêmes grandeurs que précédemment.

L'équation de la conduction de la chaleur est alors

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} = -\frac{q h}{K}$$

qui donne par intégration

$$\theta = \frac{q h}{2 K} (x^2 + a x + b)$$

où a et b sont des constantes.

Si l'on suppose que la surface de la terre est à $0^\circ C$, alors $\theta = 0$ pour $x = 0$.

Si l est l'épaisseur de la croûte, $\frac{d\theta}{dx} = 0$ pour $x = l$. Cela est évident puisque la température doit être maxima au bord interne de la croûte. Le centre, exempt de radium, doit être partout à la même température.

Substituant ces valeurs, nous trouvons

$$b = 0 \quad a = 2l$$

D'où

$$\theta = \frac{q h x}{2 K} (l - x)$$

Substituant les valeurs numériques admises plus haut

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{5 \cdot 10^{-12} \cdot 4,75 \cdot 10^{-2} x (2,7,25 \cdot 10^6 - x)}{2,4,1 \cdot 10^{-5}} \\ &= 2,90 \cdot 10^{-11} x (1,45 \cdot 10^7 - x) \end{aligned}$$

La courbe ci-jointe montre graphiquement la distribution de la température. La température maximum à la base de la croûte serait atteinte pour $x = 7,25 \cdot 10^6$. Sa valeur serait $\theta = 2,90 \cdot 10^{-11} (7,25)^2 \cdot 10^{12} = 1550^\circ$, température bien inférieure à celle de la fusion du platine¹.

1. Assurément l'hypothèse d'une conductibilité indépendante de la température n'est pas satisfaisante, mais il est difficile d'en adopter une autre. Des expériences de Lord Kelvin et Murray (*Proc. Roy. Soc.*, vol. 58, p. 162) semblent indiquer une diminution de conductibilité avec la température. D'autre part, M. C. H. Lees trouve un accroissement pour la conductibilité du verre, et certaines roches ont dû être vitreuses comme le montre encore leur aspect après refroidissement (obsidienne

Ce résultat a été obtenu dans l'hypothèse que le dégagement calorifique du radium est le même dans toute la croûte terrestre et à la surface. A l'appui de cette manière de voir, on peut citer un mémoire de

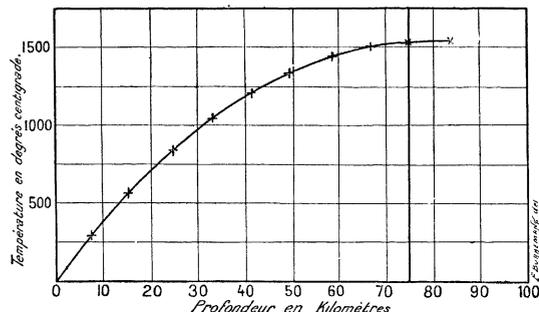


Fig. 2. — Répartition des températures à l'intérieur de la terre (valeurs calculées).

W. Makower¹, d'où il ressort que l'activité de l'émanation du radium et de ses produits, est la même à 1200° et à la température ordinaire, malgré un léger changement d'activité observé pour l'un des produits. Il n'y a donc pas lieu de supposer ici qu'un changement notable d'activité se présente avant 1500°. Je désire m'exprimer avec réserve sur ce sujet. Il se peut que des expériences ultérieures montrent une chute rapide d'activité quand on approche de cette température. Dans ce cas les conclusions tirées ici au sujet de la chaleur interne de la terre demanderaient à être modifiées.

J'avais d'abord tendance à trouver incroyable que la croûte terrestre puisse avoir une épaisseur aussi faible que 45 milles, et j'ai été vivement intéressé d'apprendre que le professeur Milne arrive sensiblement à la même conclusion par l'étude de la rapidité de propagation des tremblements de terre au travers du globe. Il donne une épaisseur de 50 milles. Cela est très compatible avec mes données, si les roches riches en radium, comme le granit, sont un peu plus abondantes que je ne l'ai supposé et si l'on prend comme valeur moyenne de la teneur en radium 5.10^{-12} grammes par centimètre cube.

Le professeur Milne émet l'idée qu'une transition très brusque apparaît à la profondeur de 50 milles, et qu'au-dessous la substance du globe est parfaitement homogène. Cela est entièrement d'accord avec les vues émises précédemment.

La nature chimique de l'intérieur du globe est un problème difficile. Il ne peut guère être essentiellement formé de fer, comme on l'a supposé longtemps par analogie avec les météorites. Le fer météorique est remarquablement exempt de radium, comme on

pitchstone). Quoi qu'il en soit la conductibilité moyenne des roches ne peut pas être beaucoup supérieure à celle que nous avons admise, sans cela on ne pourrait plus expliquer les phénomènes volcaniques.

1. *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 77, p. 241.

l'a vu, et à cet égard satisfierait bien aux exigences. Mais si la couche extérieure n'est qu'une faible fraction de volume total, elle ne peut guère influencer sur la densité moyenne qui est sensiblement celle du noyau. Or la densité de la terre (5,5) est bien inférieure à celle du fer (7,7).

VII. — Chaleur interne de la lune.

Les données de ce mémoire peuvent s'appliquer d'une manière intéressante à la lune. Ce que nous pouvons observer de la surface de la lune suggère l'idée qu'elle consiste en roches analogues à celles de la terre. La lune est considérée comme s'étant détachée de la surface de la terre et doit donc consister dans les mêmes matières qu'elle. De plus, la densité de la lune (5,5) ne diffère pas beaucoup de celle des roches. Il semble raisonnable de conclure de là que la lune se compose entièrement de roches analogues à celles de la croûte terrestre.

A ce point de vue, le gradient de la température lunaire devrait être bien supérieur à ce qu'il est pour la terre. La substance de la lune étant considérée comme 50 fois plus riche en radium que la substance moyenne de la terre, et son volume n'étant que $1/50^e$ du volume de la terre, la chaleur totale produite dans la lune serait environ la moitié de celle qui est produite dans la terre. Cette chaleur doit s'échapper par une surface environ 16 fois plus petite que celle de la terre, de sorte que le gradient de la température à la surface de la lune doit être 8 fois supérieur à celui de la terre.

De plus, la pesanteur est beaucoup moindre à la surface de la lune. Nous pouvons en conclure que les conditions qui règnent à la surface de la lune sont beaucoup plus favorables aux manifestations volcaniques de la chaleur interne. Ceci explique bien pourquoi le volcanisme est à ce point plus marqué à la surface de la lune qu'à celle de la terre.

On suppose d'ordinaire que les cratères lunaires sont éteints. Mais cette vue repose surtout sur la conviction *a priori* que la lune n'a pas de chaleur interne. Comme l'a indiqué le professeur W. H. Picking, tous les observateurs qui ont fait une étude spéciale de la lune, ont cru y constater des changements réels¹.

VIII. — Conclusion.

1. Le radium peut aisément être mis en évidence dans toutes les roches ignées. En général les roches granitiques en contiennent le plus, les roches basiques le moins.

2. La distribution du radium est assez uniforme pour permettre une estimation de la quantité totale

1. Voir la *Nature*, 5 janvier 1905.

présente dans chaque mille de profondeur de l'écorce terrestre.

5. Les résultats indiquent que l'écorce ne peut pas avoir plus de 45 milles, autrement le flux de chaleur serait plus grand qu'il n'est réellement. L'intérieur doit consister en substances entièrement différentes. Ceci est en remarquable accord avec les résultats tirés par le professeur Milne de l'étude de la vitesse de propagation des tremblements de terre à travers la masse du globe.

4. La lune est probablement constituée en grande partie de roches, et par suite sa température interne

doit être bien supérieure à celle de la terre. Ceci explique le grand développement des volcans à la surface de la lune.

5. Le fer météorique contient peu ou pas de radium. Les météorites pierreux en contiennent à peu près autant que les roches terrestres auxquelles ils ressemblent.

Je termine en remerciant MM. Harker, Reid et Hutchinson pour l'amabilité avec laquelle ils m'ont fourni divers spécimens de roches.

(Traduit de l'anglais par L. Bloch.)

